http://dx.doi.org/10.12813/kieae.2013.13.3.033

패시브 디자인을 적용한 ICF공법 주택의 난방에너지 성능 분석

An Analysis of Heating Energy Performance in Housings of ICF Method with Passive Design Applied

김 준 희* 이 태 구**
Kim, Jun-Hui Lee, Tae-Gu

Abstract

The world population is consuming more than 1/3 of the total energy for heating housings. Particularly in our country, 21% of the consumption energy is occupied by building section. Therefore, it is necessary to increase the energy efficiency in buildings, thus promoting a comfortable residential environment while minimizing energy consumption. Accordingly, this study presents considerations for implementing high-insulated and airtight passive houses.

This study selected four houses with passive house design applied, performed building energy performance through PHPP2007, a German passive house design simulation program, and compared the building-specific heat loss and heat gain. As a result, the most vulnerable part to heat loss was turned out to be a window and the heat loss was caused by outer wall, roof, and ventilation. Accordingly, for the implementation of passive house, it is necessary to make a careful plan and airtight construction that are complementary to various parts through the energy performance analysis started from the design phase.

키워드 : 패시브하우스, PHPP2007, 에너지성능평가, 난방에너지, 열손실, 열획득
Keywords : Passive House, Passive House Planning Package 2007, Building Energy Performance, Heating Energy, Heat loss, Heat gain, ICF(Insulated concrete forms)

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

현재 전 세계적으로 1/3 이상의 에너지를 건축물에서 소비하고 있다.[1] 건물에서의 에너지 소비는 대부분 냉·난방에너지로 사용되며, 이에 다량의 온실가스의 발생으로 여러 이상기후 현상이 나타나고 있는 실정이다.

우리나라의 경우도 국가 전체 온실가스 배출량의 25%, 소비 에너지의 21%를 건물부문이 차지하고 있으며, 가정에서의 에너지 소비는 연평균 5.1%라는 높은 증가 추세를 보이고 있다.[2] 건물 분야의 에너지소비 증가는 삶의 질 향상에 따른 것이며 이렇게 향상된 삶의 질을 고려하지 않고 절약만으로 에너지소비를 줄이는 것은 역부족일 것이다.

절약과 더불어 실내 환경은 쾌적하게 유지하면서 에너지 소비를 줄이는 방안이 필요하다. 따라서 에너지 절약측면에서 국가 정책적으로 2013년 2월부터 부동산 거래 시 에너지 효율등급 평가서[3] 첨부를 의무화하는 에너지소비 증명제를 실시하고, 2016년 이후에는 전국으로 확대할 예정이라고 한다. 이는 건물의 에너지 효율을 높여 에너지 소비는 최소화하고 주거의 쾌적함은 유지해야 한다는 의미로 해석된다. 이러한 건물을 만들기 위해서는 계획단계에서부터 에너지 성능분석과 함께 계획·설계가 이루어져야한다.

이에 본 연구에서는 패시브 디자인이 적용된 주택 4곳의 난방에너지 요구량을 비교·분석하여 문제점을 파악하고 패시브하우스를 계획하는데 있어 기초자료 제공에 목적이 있다.

1.2 연구 방법 및 범위

본 연구는 충북·강원·경기도 지역에 패시브 디자인을 적용한 단독주택 4곳을 선정하여 난방에너지 요구량 및 열손실량을 비교·분석하였다. 모든 대상주택은 거푸집과 단열재 역할을 동시에 수행하여 시공이 간편하고, 양단열 형태로

* 주저자, 세명대학교 건설공학과 석사과정(twoenf@naver.com)
** 교신저자, 세명대학교 건축공학과 교수, 공학박사 (tglee2911@naver.com)

1) 김주환, 패시브하우스 계획 및 시공방안에 관한 연구, 세명대학교 대학원 석사학위논문, 2012.02

2) etnews. greendaily 건물에너지, 수요관리의 열쇠, 2013.01.28

3) 단위면적당 1차에너지 소요량, 단위면적당 이산화탄소 배출량, 사용면적당 에너지 사용량, 사용면적당 이산화탄소 배출량 등 항목을 계산하여 작성한 것

단열성능이 우수한 ICF공법으로 이루어진 주택이다.

기후데이터는 METEONORM6.1을 적용하였으며, 실내온도는 20℃로 설정하고 세대 구성인원은 4인으로 한정하여 건축물에서의 에너지 절감을 위한 설계디자인단계부터 고려해야 할 사항을 제시하는 것으로 연구범위를 설정하였다.

연구의 방법으로는 독일 패시브하우스 설계 시뮬레이션 프로그램인 PHPP 2007를 사용하여 건축물 에너지 성능평가를 실시하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 선행연구 고찰

패시브 디자인 요소를 적용한 주택에 대한 연구는 2000년대 이후부터 이루어지고 있으며 그와 관련된 에너지성능 분석에 관한 연구도 진행되고 있다. 이에 PHPP 프로그램을 이용한 에너지성능 평가에 대한 선행 연구를 살펴보면 아래와 같다.

원종서(2005) 외 2명의 연구에서 기존 주택보다 에너지소비량을 80%절감할 수 있는 우리나라 실정에 적합한 한국형 3리터 하우스로 단열(외벽 0.1 W/㎡K), 실내 표준 실온도 20℃, 여름철 자연환기 및 일사차폐, 창호 열관류유 값 0.8 W/㎡K의 가상 주택을 설계하여 3리터 하우스를 만족시키는 건물외피의 물성치를 PHPP 프로그램을 통해 산정하였고 결과는 아래의 표와 같다.[4)]

표 1. 한국형 3리터 하우스의 건물외피 물성치 결과

구성 (U-value:W/㎡K)	두께 (m)	재료	열전도율 (W/mk)	밀도 (kg/㎥)
외벽 (0.0834)	0.350	단열재	0.030	25.0
	0.160	콘크리트	1.130	2000.0
지붕 (0.2235)	0.005	아스팔트	0.500	1700.0
	0.015	Ply wood	0.150	560.0
	0.125	단열재	0.030	25.0
	0.006	Ply wood	0.150	560.0
최상층천장 (0.0734)	0.400	단열재	0.030	25.0
	0.150	콘크리트	1.130	2000.0
최하층바닥 (0.0936)	0.300	콘크리트	1.130	2000.0
	0.300	단열재	0.030	25.0
	0.300	콘크리트	1.130	2000.0
창문(0.8496)	0.420	3중 양면코팅 Low-E 유리		

구보경(2010) 외 3명의 연구에서는 PHPP프로그램을 통해 내, 외단열 공동주택의 동단위 월별 난·냉방 에너지 요구량을 산출하여 외단열 공동주택의 에너지 절약 효과를 파악하였다. 그 결과 기존에 내단열 공동주택의 선형 열관류율보다 외단열 시스템 적용시 선형 열관류율이 65.1~86.4%가 절감되었고, 열교 제거에 의한 외피 전열량 감소와 단위면적당 유효 열용량 증가에 의한 획득 및 손실열량 활용계수 증가의 복합 작용을 통해 연간 난방에너지요구량은 10.2% 감소하고, 연간 냉방에너지 요구량은 1.3% 감소하는 것으로 나타났다.[5)]

선행연구를 보면 에너지성능 분석을 통해 계획단계에서 패시브하우스 기준을 만족시킬 수 있는 물성치를 산출하는 연구와 기존 공동주택에서 내단열 공법보다 외단열 공법이 에너지 절감에 효과적이라는 단열방법에 따른 에너지 성능 분석 연구가 이루어졌다.

본 연구에서는 실제 패시브 디자인 요소가 적용된 ICF공법의 단독주택을 대상지로 선정하고, 패시브 디자인 공법에 따른 난방에너지 요구량과 열손실·열획득 부위를 분석하여 패시브하우스 계획 및 시공시 고려해야 할 사항을 제시하고자 한다.

2.2 패시브하우스를 위한 패시브 디자인 기본 조건

패시브하우스는 기존 건물에서 사용되는 에너지 소비를 최소화하는 저에너지 건축의 개념으로 통상적인 냉·난방 없이도 쾌적한 건물의 실내 환경을 유지하는 것을 목표로 하는 건물이다. 이를 구현하기 위해서는 고단열과 고기밀 시공을 통해 연간 난방부하 15kWh/㎡ 이하, 연간 1차에너지 소비가 120kWh/㎡이하가 되어야 한다.

이에 패시브하우스 건축에서 선행해야 할 것은 표면적-부피(A/V관계)비를 0.7이하로 계획하여 외피면의 열손실이 최소화되도록 하고 효율적인 태양에너지 이용을 위해 건물의 배치 및 입지를 먼저 고려해야 한다. 또한 단열 시 단열선이 끊기는 부위의 열교를 최소화할 수 있는 방법으로 열손실계수가 0.01W/m·K를 넘지 않도록 하며 구조체와 창호부위 뿐만 아니라 기타 설비관로 및 배관, 전선 연결부 등 침기 발생이 많은 부위의 세심한 계획 및 시공이 필요하다. 그리고 열적 손실이 많은 창은 투과율 50%이상, 열관류율 0.8W/㎡·K이하의 시스템 창호를 선정해야 한다. 이렇게 높아진 단열성과 기밀성능으로 실내공기질의 청정 유지와 환기 시 발생되는 열손실을 막기 위해 폐열회수환기장치의 설치를 요하며 그 성능은 75% 이상을 요구한다.

2.3 난방에너지 요구량 산출도구 개요

본 연구에서는 각 모델의 난방에너지 및 열손실량을 분석하기 위하여 독일 패시브하우스 연구소에서 개발한 PHPP 2007프로그램을 이용하였다. PHPP(Passive House Planning Package)는 패시브 하우스 설계를 위하여 독일 PHI(Passive House Institute)에서 제공하는 에너지 해석프로그램으로서 Passive House의 연간 에너지 요구량 산출 프로그램으로 개발되었으며, 주거용 건물 및 비주거용 건물의 에너지 요구량을 정확히 산출하여 결과를 얻을 수 있도록 하고 있다.[6)]

독일 PHI는 패시브하우스 구현을 위하여 건물에 미치는 설계변수들을 결정하고 이를 국제 표준인 ISO 13790[7)]에 근거하여 주거용 건물의 에너지 요구량을 산출한다. 에너지 요구량 계산방식은 연간계산법과 월간계산법이 있으며 이

4) 원종서 외 2명, 3리터 하우스 설계를 위한 건축요소의 에너지성능 평가, 대한건축학회 논문집 : 계획계 Vol.25 No.1, 2005

5) 구보경 외 2명, ISO 13790의 Monthly Calculation Method를 이용한 내, 외단열 공동주택의 에너지성능 평가, 대한건축학회 논문집 : 계획계 Vol.2010 No. 10, 2010

6) W.Feist, PHPP(Passive House Planning Package) 2007, Passiv Haus Institut, 2007, p8

7) ISO 13790: 2008, Energy performance of buildings Calculation of energy use for space heating and cooling.

중 연평균 온도차가 크게 발생되는 기후에서는 월간계산법(Monthly Calculation Method)을 적용하고 있다.

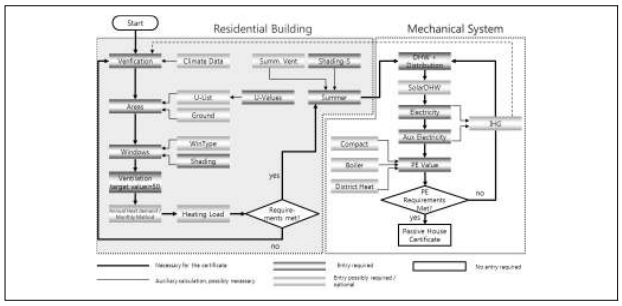


그림 1. PHPP 프로그램 주거용 분석 프로세스

월간계산법은 주어지는 조건에 의해 에너지 소비 및 획득량을 월간간격으로 계산하기 때문에 난방 및 냉방 에너지 요구량 산출 시에 구조체의 열용량을 분석할 수 있고, 부위별 선형열교(ψ)를 함께 반영하여 상당히 정확한 에너지 요구량을 산출할 수 있는 건물에너지 시뮬레이션 도구이다.

2.4 PHPP2007을 통한 선정모델 에너지요구량 산출방법

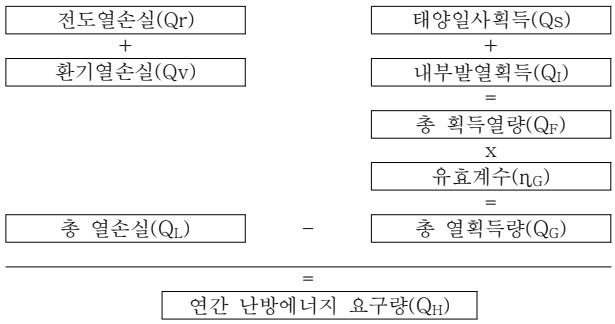


그림 2. PHPP 프로그램 난방에너지 요구량 산출방식

상기 그림에서 보는 바와 같이 PHPP2007의 Monthly Method(월간계산법)은 건물에서의 외피에 의한 전도열손실(Q_T) 및 환기열손실(Q_V)을 합한 총 열손실량(Q_L)에서 태양일사획득(Q_S) 및 내부발열 획득량(Q_I)[8]을 합한 총획득열량(Q_F)에 유효계수를 곱한 총 열획득량(Q_G)을 차감한 나머지 연간 난방에너지 요구량(Q_H)을 산정한다. 산정된 연간 난방에너지 요구량을 냉난방면적인 TFA(Treated Floor Area)면적으로 나누어, 단위면적당 연간 난방에너지 요구량(QH)으로 표기하여 최종 산출되며 아래식과 같다.

$$Q_T = A \cdot U \cdot f_T \cdot G_t \quad \text{식(1)}$$

$$Q_V = n_V \cdot V_{RAX} \cdot {}_c \cdot G_t \quad \text{식(2)}$$

$$Q_{L=} Q_T + Q_V \quad \text{식(3)}$$

$$Q_S = r \cdot g \cdot A_W \cdot G \quad \text{식(4)}$$

$$Q_F = Q_I + Q_S \quad \text{식(5)}$$

$$Q_G = Q_F \cdot n_G \quad \text{식(7)}$$

$$Q_H = Q_L - Q_G \quad \text{식(8)}$$

Q_T : 전도열손실량(kWh/a)
Q_V : 환기열손실량(kWh/a)
Q_L : 총 열손실량(kWh/a)
Q_S : 태양일사획득열량(kWh/a)
Q_F : 총 획득열량(kWh/a)
Q_G : 총 획득열량(kWh/a), (n_G : 유효계수)
Q_H : 연간 난방에너지 요구량(kWh/a)

3. 실험 주택별 난방에너지 성능 분석

3.1 평가모델 선정

본 연구에서는 평가모델의 선정을 위하여 2010년부터 2012년까지 패시브디자인을 적용한 주택을 지역별로 선정하였다. 선정된 지역으로는 충북제천과 강원도 둔내, 경기도 용인을 선정하였고, 충북제천 도화리 주택을 PH-1, 제천 신월동 주택을 PH-2, 경기도 용인주택을 PH-3, 강원도 둔내주택을 PH-4로 각각 지정하였다.

선정된 모델의 에너지 성능평가를 위하여 기본조건은 다음과 같이 설정하였다.

① 기본조건으로 에너지 요구량 분석을 위해 실내온도를 20℃로 설정하고 세대구성원은 4인 가족을 기준으로 설정하였다.

② 분석을 위해 사용된 기후데이터는 PHPP에서 인정하고 있는 METEONORM6.1의 충주지역기후와 원주지역기후, 성남지역기후를 적용하였다.[9]

③ 에너지 요구량 분석에 영향을 미치는 주택의 기밀성능은 최초 기밀성능을 제외한 값과 패시브하우스 최소인증 수치인 0.6회/h, 기밀테스트장비[10]를 이용한 현장실측 값을 각각 적용하는 것으로 설정하였다.

3.2 모델별 개요 및 난방에너지 요구량 분석

1) 충북 제천시 도화리 K씨 주택(PH-1)

본 모델은 2010년에 시공된 평지붕 형태의 1층 단독주택으로 남향에 묘원이 있어 정남향에서 서쪽으로 15° 치우친 형태로 배치되었다.

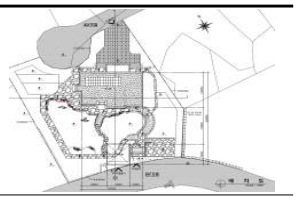
주 구조는 철근콘크리트 구조이며 양단열 무거푸집 형태인 단열블럭을 이용하여 외벽을 구성하였고, 기초의 형태는 헌치구조를 가지는 매트기초로 XPS단열재를 이용하여 외벽단열과 끊어짐이 없도록 시공하였으며 지붕구조는 EPS 단열재를 이용한 외단열 공법을 적용하였다.

8) 난방기간 동안에 인체와 가전기기에서의 발열 합으로 표준 주거조건에 대하여 산정되며 TFA면적당 단독주택은 2.1W/㎡을 기준으로 산정

9) 해당지역의 데이터자료가 마련되지 않아 각 지역의 인근기후데이터를 활용하였고, 연간 큰 온도차를 보이는 국내기후특성에 따라 Monthly Method(월간법)을 적용하여 분석하였다.

10) Blower Door Test는 미국 Energy Conservatory Minneapolis 제품을 이용하여 감압법을 적용하여 측정하였다.

표 2. PH-1 개요



시공년도 : 2010
대지면적 : 1,192㎡
건축면적 : 178.21㎡(차고 포함)
건폐율 및 층수 : 14.95%(지상1층)
적용구조 : 철근콘크리트조
단열방식 : 양단열(외단열+내단열)

모델은 대지면적 약 1192㎡에 건축면적은 178㎡으로 실은 총 방 3개와 다용도실 1개, 화장실 2개, 부엌 및 거실, 창고 및 보일러실로 구성되었다.

외부마감은 외단열 미장마감을 실시하였고 외피면의 칼라는 흡수를 고려하여 적용하였으며 내부는 실내공기질을 고려한 황토미장과 천연페인트를 이용하여 디자인하였다.

환기설비는 난방효율 75%를 가지는 폐열회수환기 유닛을 설치하였고, 난방과 냉방을 위해 지열히트펌프(용량 5RT)를 통합·적용하였으며 태양전지(3kWp)를 설치하여 전기가 필요한 에너지를 대부분 자연에너지로 대체가능하도록 하였다. 창문은 고효율 3중 창호와 단열문으로 시공하였다.

표 3. PH-1 평면도 및 구체별 설계 성능

구분	U-Value [두께]
지붕	0.098 [830㎜]
외벽	0.119 [490㎜]
바닥	0.107 [685㎜]
창호	0.7 [45㎜] (g-Value 0.5)
문	0.806 [56㎜]

PH-1의 구조체별 설계 성능을 보면 지붕 0.098W/㎡K, 외벽0.119W/㎡K, 바닥0.107W/㎡K로 패시브하우스 기준인 0.15W/㎡K 이하이며 창호와 문도 기준치인 0.8W/㎡K에 부합하도록 설계하였다.

기밀성 테스트에서는 $1.28h^{-1}$로 패시브하우스 기준인 0.6 h^{-1}에 미치지 못하였으나 일반 주택에 비해서는 우수한 기밀성능을 보였다.

위의 자료를 바탕으로 <그림 3>의 PHPP 분석 결과, 난방에너지는 23kWh/㎡·a를 소비하는 것으로 나타났고 1차에너지는 97kWh/㎡·a로 측정되었다. 이에 단위 면적당 난방에너지 소비는 패시브하우스 기준보다 8kWh/㎡·a를 초과하였지만 1차에너지는 기준치인 120kWh/㎡·a에 비해 23 kWh/㎡·a를 적게 소비하는 것으로 나타났다.

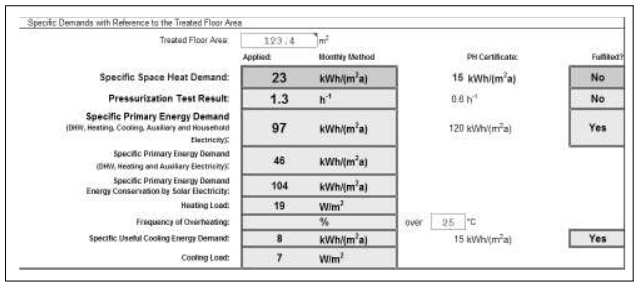


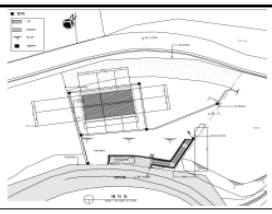
그림 3. PH-1 난방에너지 요구량 분석

2) 충북 제천시 신월동 실험주택(PH-2)

PH-2는 2011년 시공된 1층의 단독주택이며 대지가 경사면에 위치하고 있어 면적이 협소한 관계로 정남을 기준으로 35° 동측으로 치우쳐 배치되었다.

벽체는 무거푸집의 단열블럭을 이용하여 양단열 방식으로 외벽을 구성하였고 구조는 철근콘크리트 구조를 적용하였다. 기초는 매트기초 형태에 XPS단열재를 이용하여 외벽 단열과 이어지도록 단열하였고, 지붕은 경량목구조의 박공지붕 형태로 유리섬유단열재를 서까래 사이와 장선 사이에 채우고 교차 시공하여 목재의 열교를 차단하였다.

표 4. PH-2 개요



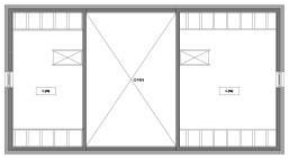
시공년도 : 2011
대지면적 : 988㎡
건축면적 : 84.12㎡
건폐율 및 층수 : 8.51%(지상1층, 다락)
적용구조 : 철근콘크리트조(벽체), 경량 목구조(지붕)
단열방식 : 양단열(외단열+내단열)

이 실험 주택은 농촌지역의 저에너지 주택을 목표로 건축된 단독주택으로 대지면적 988㎡에 건축면적 84.12㎡이다. 실의 구성은 방 3개, 화장실, 다용도실, 거실, 부엌, 보일러실과 거실 좌우에 다락을 구성하고 있다.

주택의 외부마감은 천연재료인 모노쿠쉬를 이용한 외단열 미장마감을 실시하였고 내부의 실내 공기질과 습도조절을 위하여 황토미장 및 천연페인트와 목재, 목화솜을 사용하여 다양한 내부 디자인을 구현하였다.

환기장치는 난방효율 76%인 전열교환기를 적용하였으며, 지중열교환방식인 쿨튜브를 프리히팅장치로 결합하여 설치하였다. 그리고 태양전지(3kWp)을 설치하여 전기에 필요한 에너지는 자연에너지로 대체하였다. 창문은 고효율 3중 창호 및 단열문으로 시공하였으며 지붕면의 축열 효과 및 주변 미기후조절을 위하여 지붕녹화를 실시하였다.

표 5. PH-2 평면도 및 구체별 설계 성능

1층 평면도	다락 평면도
	

구분	U-Value [두께]
지붕	0.125 [497㎜]
외벽	0.119 [395㎜]
바닥	0.110 [670㎜]
창호	0.7 [45㎜] (g-Value 0.5)
문	0.764 [60㎜]

구조체별 열관류율은 지붕 0.125W/㎡K, 외벽 0.119W/㎡K, 바닥 0.110W/㎡K, 창호 0.7W/㎡K, 문 0.764W/㎡K로 역시 패시브하우스 기준 이하로 설계하였다.

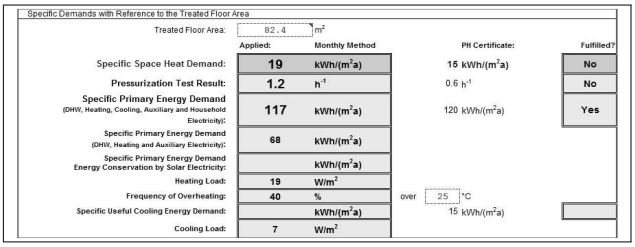


그림 4. PH-2 난방에너지 요구량 분석

PH-2의 기밀성 테스트 결과 $1.22h^{-1}$로 측정되었고, 이에 <그림 4>의 PHPP 분석을 보면 난방에너지 소비는 19kWh/㎡·a, 1차 에너지 소요량은 117kWh/㎡·a로 나타났다.

패시브하우스 기준에 비해 난방에너지는 4kWh/㎡·a를 초과하는 결과를 보였지만 1차에너지는 패시브하우스 기준인 120kWh/㎡·a에 비해 3kWh/㎡·a를 적게 소비하는 것으로 분석되었다.

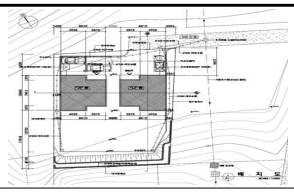
3) 경기도 용인 동백동 K씨 주택(PH-3)

PH-3은 2011년에 시공된 단독주택이며 대지 형태에 따라 정남향에서 서쪽으로 10° 치우쳐 배치하였다. 벽체는 양단열 무거푸집 형태의 단열블럭을 이용하여 외벽을 구성하였고 철근콘크리트 구조로 건축되었으며 기초는 매트기초 형태에 XPS단열재를 적용하여 외벽단열과 끊김 없이 시공하였다. 지붕은 박공지붕 형태에 경량목구조로 유리섬유단열재를 교차 시공하여 목재의 열교를 차단하였다.

본 모델은 대지면적 826㎡, 건축면적 164.76㎡에 다락을 별도(연면적 제외)로 구성하고 있는 2층의 단독주택으로 1층은 주방과 다용도실, 보일러실, 화장실, 게스트룸, 거실등으로 계획되었으며 2층은 침실 3개와 화장실, 다용도실, 가족실로 이루어져 있다.

패시브하우스 계획 시 두 가구의 벽을 맞벽으로 하는 듀플렉스(Duplex)형태로 계획하면 에너지 효율적 측면에서 유리하나, 소음과 프라이버시를 고려하여 건물사이를 이격하여 계획하였다. 외부마감은 외단열 미장마감을 적용하였고 내부는 습도조절 및 공기질을 위한 황토미장 및 천연페인트로 마감하였다. 벽체는 내력벽이 아닌 부분을 칸막이 벽체로 시공하여 향후 유동이 가능한 구조로 설계하였고, 3층 다락에는 천창을 설치하여 지붕창을 통한 패시브난방과 자연채광을 유도하였다.

표 6. PH-3 개요

시공년도 : 2011
대지면적 : 826㎡
건축면적 : 164.76㎡ (2세대)
건폐율 및 층수 : 19.95%(지상2층, 다락)
적용구조 : 철근콘크리트조(벽체), 경량목구조(지붕)
단열방식 : 양단열(외단열+내단열)

환기장치는 난방효율 80% 유닛을 설치하였으며 고효율 3중 창호 및 3중 유리문을 적용하였고 연료전지를 설치하여 전기에너지를 얻을 수 있도록 하였다.

표 7. PH-3 평면도 및 구체별 설계 성능

1층 평면도	2층 평면도

구분	U-Value [두께]
지붕	0.110 [460㎜]
외벽	0.119 [455㎜]
바닥	0.109 [770㎜]
창호	0.7 [45㎜] (g-Value 0.5)
문	0.764 [60㎜]

구조체별 열관류율은 지붕0.110W/㎡K, 외벽0.119W/㎡K, 바닥0.109W/㎡K, 창호0.7W/㎡K, 문0.764W/㎡K로 패시브하우스 기준 이하로 설계하였고, 기밀성 테스트 결과 역시 $0.48h^{-1}$로 패시브하우스 기준인 $0.6h^{-1}$을 만족하였다.

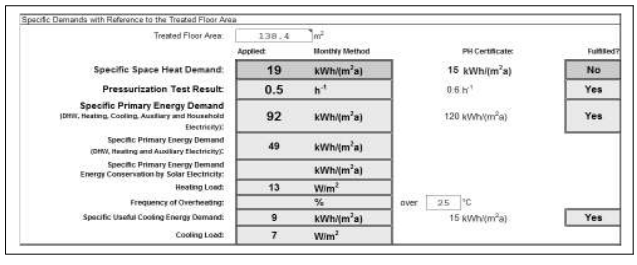


그림 5. PH-3 난방에너지 요구량 분석

<그림 5>의 PHPP 분석을 보면 난방에너지 소비는 19kWh/㎡·a로 패시브하우스 기준인 15kWh/㎡·a보다 4kWh/

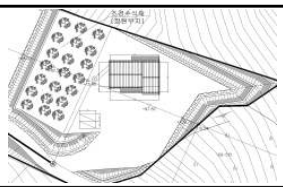
㎡·a를 초과하는 것으로 분석되었으나 1차에너지 소요량은 92kWh/㎡·a로 패시브하우스 기준에 비해 28kWh/㎡·a의 적은 소비량을 보였다.

4) 강원도 횡성군 둔내면 A씨 주택(PH-4)

PH-4는 2012년에 시공된 주택으로 정남향을 향하고 있는 1층의 단독주거건물이다.

PH-4 역시 앞의 평가모델들과 마찬가지로 양단열에 무거푸집 형태의 단열블럭을 이용하여 외벽을 구성하였고 철근콘크리트 구조로 시공하였다. 이러한 EPS단열재로 구성된 단열블럭을 적용하면 단열재와 구조체의 분리를 방지할 수 있는 장점이 있다. 기초는 매트기초 형태로 XPS단열재를 이용하여 외벽단열과 끊어지지 않도록 시공하였고 지붕은 박공지붕에 경량목구조로 유리섬유단열재를 교차로 설치된 서까래와 장선 사이에 채워 열교가 차단될 수 있도록 하였다.

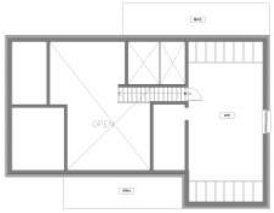
표 8. PH-4 개요



시공년도 : 2012
대지면적 : 1881㎡
건축면적 : 145.3㎡
건폐율 및 층수 : 7.7%(지상1층 다락)
적용구조 : 철근콘크리트조(벽체), 경량목구조(지붕)
단열방식 : 양단열(외단열+내단열)

PH-4는 대지면적 1881㎡, 건축면적 145.3㎡에 방 3개, 화장실 2개, 다용도실, 거실, 부엌, 보일러실 다락으로 실을 구성하였다. 외부마감으로 천연몰탈인 모노쿠쉬를 적용하였으며 내부마감은 축열을 위하여 시멘트몰탈마감 위 천연페인트로 마감하였다.

표 9. PH-4 평면도 및 구체별 설계 성능

1층 평면도	다락 평면도
	

구분	U-Value [두께]
지붕	0.117 [535㎜]
외벽	0.119 [455㎜]
바닥	0.106 [620㎜]
창호	0.5 [45㎜] (g-Value 0.5)
문	1.000 [62㎜]

주택의 냉·난방을 위하여 지열히트펌프(난방용5RT)를 설치하였고, 태양전지(3kWp)를 적용하여 냉·난방 및 전기에 필요한 에너지를 대부분 자연에너지로 대체하였다. 환기시스템은 난방효율 75%제품과 쿨튜브를 적용하였으며 고효율3중 창호와 단열문으로 시공하였다. 또한 하절기 외부의 일사를 적극적으로 차단하기 위하여 창호 일체형 셔터를 장착하였다.

구조체별 열관류율은 지붕 0.117W/㎡K, 외벽 0.119W/㎡K, 바닥 0.106W/㎡K, 창호 0.5W/㎡K, 문 1W/㎡K로 문을 제외한 나머지는 패시브하우스 기준 이하로 설계하였다.

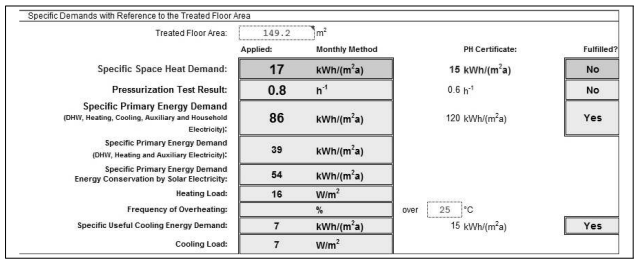


그림 6. PH-4 난방에너지 요구량 분석

PH-4는 기밀성 테스트 결과 $0.79h^{-1}$로 패시브하우스 기준에 미치지 못하였으며, <그림 6>의 PHPP 분석 결과 난방에너지 소비도 17kWh/㎡·a로 패시브하우스 기준보다 2kWh/㎡·a 의 초과 소비를 보였다. 그러나 1차에너지부문에서는 86kWh/㎡·a의 소요량을 보여 120kWh/㎡·a에 비해 34kWh/㎡·a가 적은 것으로 분석되었다.

3.3 모델의 부위별 열손실 및 열획득 분석

1) PH-1 모델 분석

PH-1의 구조체별 열손실량을 분석하면 연간 7,591kWh/a의 열손실이 발생하는 것으로 분석되었고 가장 많은 손실이 발생한 곳은 창문으로 1,954kWh/a(25.7%)의 손실을 보여 열손실에 있어 가장 취약한 것으로 분석되었다. 창문에 이어 외벽 1,691kWh/a, 환기 1,663kWh/a로 많은 손실이 나타났다.

열획득 부분에 있어서도 창문이 전체 연간 열획득 5,129 kWh/a 중에서 3,557kWh/a(69.4%)를 차지하여 가장 많은 열획득을 보였고 특히 남측창의 경우 3,197kWh/a로 가장 높게 나타났다. 또한 내부발열과 외피면 흡수도 열손실을 상쇄 시킬 수 있는 부분으로 각각 1,211kWh/a, 361kWh/a을 획득하였다.

표 10. PH-1의 부위별 열손실과 열획득

구분	열손실 kWh/a	열손실 비(%)	구분	열획득 kWh/a	열획득 비(%)
외벽	1,691	22.3	창문(북)	80	1.6
지붕	1,283	16.9	창문(동)	91	1.8
바닥	615	8.1	창문(남)	3,197	62.3
창문	1,954	25.7	창문(서)	189	3.7
문	385	5.1	외피면흡수	361	7.0
환기	1,663	21.9	내부발열	1,211	23.6
계	7,591	100	계	5,129	100

2) PH-2 모델 분석

PH-2의 건물 구조체별 열손실량은 연간 4,811kWh/a의

열손실이 발생하며 이 가운데 창문을 통한 열손실량이 1,232 kWh/a(28.4%)로 가장 많았고 환기 1,204kWh/a, 지붕 918 kWh/a 순으로 많은 손실이 발생하였다.

열획득량은 연간 3,322kWh/a로 창문을 통한 열획득이 2,256kWh/a(65.9%)이며 창문 중에서도 남측창의 일사 획득량이 2,150kWh/a로 가장 많았다. 내부발열은 752kWh/a, 외피면 흡수는 314kWh/a의 열획득이 나타났다.

표 11. PH-2의 부위별 열손실과 열획득

구분	열손실 kWh/a	열손실 비(%)	구분	열획득 kWh/a	열획득 비(%)
외벽	869	18.1	창문(북)	65	2.0
지붕	918	19.1	창문(동)	27	0.8
바닥	472	9.8	창문(남)	2,150	64.7
창문	1,232	25.6	창문(서)	14	0.4
문	116	2.4	외피면흡수	314	9.5
환기	1,204	25.0	내부발열	752	22.6
계	4,811	100	계	3322	100

3) PH-3 모델 분석

PH-3의 구조체별 열손실량을 분석하면 연간 6,253kWh/a의 손실을 보이며 가장 많은 손실은 외벽을 통한 손실로 2,593kWh/a(41.5%)로 나타났고 창문은 1,311kWh/a로 외벽 다음으로 많은 손실을 보였다. 이는 벽체보다 상대적으로 열손실에 취약한 창호의 면적이 작기 때문에 외벽에서의 열손실이 증가한 것으로 분석된다.

연간 열획득량은 3,700kWh/a로 창문을 통한 열획득이 2,052kWh/a(55.5%)로 역시 남측창에서 1,739kWh/a로 가장 많이 획득하였고, 내부발열은 1,028kWh/a, 외피면 축열은 620kWh/a이 발생했다.

표 12. PH-3의 부위별 열손실과 열획득

구분	열손실 kWh/a	열손실 비(%)	구분	열획득 kWh/a	열획득 비(%)
외벽	2,593	41.5	창문(북)	73	1.6
지붕	838	13.4	창문(동)	4	1.8
바닥	374	6.0	창문(남)	1,739	62.3
창문	1,311	21.0	창문(서)	236	3.7
문	272	4.3	외피면흡수	620	7.0
환기	865	13.8	내부발열	1,028	23.6
계	6,253	100	계	3,700	100

4) PH-4 모델 분석

PH-4의 구조체별 열손실은 연간 7,751kWh/a이며 환기로 인한 손실이 1,891kWh/a(25.9%)로 가장 많은 손실을 보였다. 이는 PH-4가 다른 주택에 비해 주택의 내부볼륨이 커 환기로 인한 손실이 많은 반면, 창호의 효율은 다른 주택보다 높아 창의 열손실보다 환기로 인한 손실이 많은 것으로 판단된다. 환기에 이어 비슷한 수준으로 창문 1,886 kWh/a, 지붕 1,783kWh/a의 손실이 나타났다.

열획득은 연간 5,704kWh/a로 창문을 통한 열획득이 3,488kWh/a(61.2%)로 가장 많고 특히 남측창이 3,086kWh/a 전체 열획득의 반 이상을 차지하였다. 서쪽에는 창이 없어 열획득량이 발생하지 않았으며 내부발열은 1,594kWh/a, 외피면 흡수는 622kWh/a로 나타났다.

표 13. PH-4의 부위별 열손실과 열획득

구분	열손실 kWh/a	열손실 비(%)	구분	열획득 kWh/a	열획득 비(%)
외벽	1,453	12.3	창문(북)	136	2.4
지붕	1,783	18.7	창문(동)	266	4.7
바닥	690	8.9	창문(남)	3,086	54.1
창문	1,886	24.3	창문(서)	0	0
문	48	0.6	외피면흡수	622	10.9
환기	1,891	24.5	내부발열	1,594	27.9
계	7,751	100	계	5,704	100

4. 평가모델 비교 · 분석 결과

<표 13>에서 각 지역의 패시브 디자인 요소를 적용한 4곳을 대상으로 난방에너지 요구량 및 구조체를 통한 열손실 및 열획득량을 비교하여 정리하였다. 분석결과를 요약하면 다음과 같다.

난방에너지 요구량분석에서 1차에너지 소요량은 패시브하우스 기준인 120kWh/㎡·a이하의 기준을 만족하는 반면 난방에너지 소비량은 23kWh/㎡·a(PH-1), 19kWh/㎡·a(PH-2), 19kWh/㎡·a(PH-3), 18kWh/㎡·a(PH-4)로 기준인 15kWh/㎡·a을 모두 초과하였다. 이에 열손실과 열획득 부분을 비교하여 손실에 취약에 부분이 어디인지, 그것을 상쇄할 수 있는 부분은 어디인지 살펴보았다.

구조체에서 열손실이 가장 많은 곳은 창문이며 다음으로 외벽과 지붕, 바닥순으로 많은 손실이 있는 것을 확인할 수 있었다. PH-3 경우에는 창문(1,311kWh/a)보다 외벽(2,593 kWh/a)에서의 손실이 높게 나타났는데 이는 창호면적이 작아 상대적으로 외벽의 면적이 넓어진 결과이다. 그리고 창문 못지않게 많은 열손실이 야기되는 부분이 환기로 인한 손실이다. PH-4의 경우에는 창문(1,886kWh/a)으로 손실되는 양보다 환기(1,891kWh/a)에 의한 손실이 조금 더 높게 나타났는데 이는 다른 주택에 비해 PH4의 내부볼륨이 크기 때문이다.

4곳의 평가모델에서 문에서의 열손실량을 보면 큰 차이를 보인다. 이는 문에 사용된 유리의 면적과 방향차이 때문이다. 문의 유리부분은 창문으로 인식되어 PH-1과 PH-3처럼 다소 높은 열손실을 보이는 이유가 문의 유리 면적이 작은 것을 의미하며, 반대로 PH-4와 같이 수치가 낮은 것은 유리 면적이 넓고 남측으로 설치되어 있어 문에서의 열손실이 낮게 나타나는 것이다. 하지만 유리 면적이 넓은 부분은 창에서의 열손실에 영향을 주며 또한 창의 열획득에도 영향을 미친다.

이에 패시브하우스에서는 창문 계획 시 열손실과 열획득을 고려하여 창의 크기를 선정하는 것이 중요하다. PH-3의 경우를 보면 높은 환기장치의 난방효율(80%)과 기밀성능($0.48h^{-1}$)에도 불구하고 패시브하우스의 난방에너지 요구량(15kWh/㎡·a)보다 3kWh/㎡·a를 초과한 18kWh/㎡·a로 나타나 기준을 만족하지 못하는 것을 볼 수 있다. 이는 남측창의 면적이 작아 충분한 일사획득이 어려운 결과라고 분석된다.

표 14. 각 평가모델 비교 정리

구분		PH-1	PH-2	PH-3	PH-4
주향		남서향	남동향	남서향	정남향
건축면적(㎡)		178.21	84.12	164.76	145.3
구조체	지붕	철근 콘크리트 (외단열)	경량 목구조 (단열)	경량 목구조 (단열)	경량 목구조 (단열)
	벽체	단열블럭 (양단열)	단열블럭 (양단열)	단열블럭 (양단열)	단열블럭 (양단열)
	기초	메트기초 (단열)	메트기초 (단열)	메트기초 (단열)	메트기초 (단열)
환기장치 난방효율(%)		75	76	80	75
기밀성(h^{-1})		1.28	1.22	0.48	0.79
환기 열손실량 (kWh/a)		1,663	1,204	865	1,891
지붕	두께[㎜]	830	497	460	535
	열관류율	0.098	0.125	0.110	0.117
	열손실량 (kWh/a)	1,283	918	838	1,783
외벽	두께[㎜]	490	395	455	455
	열관류율	0.119	0.119	0.119	0.119
	열손실량 (kWh/a)	1,691	869	2,593	1,453
바닥	두께[㎜]	685	670	770	620
	열관류율	0.107	0.110	0.109	0.106
	열손실량 (kWh/a)	615	472	374	690
창호	두께[㎜]	45	45	45	45
	열관류율 (g-Value)	0.7 (0.5)	0.5 (0.5)	0.7 (0.5)	0.5 (0.5)
	열손실량 (kWh/a)	1,954	1,232	1,311	1,886
문	두께[㎜]	56	60	60	62
	열관류율	0.806	0.764	0.764	1
	열손실량 (kWh/a)	385	116	272	48
열획득	남측창 (kWh/a)	3,197	2,150	1,739	3,086
	내부발열 (kWh/a)	1,211	752	1,028	1,594
총 열손실량 (kWh/a)		7,591	4,811	6,253	7,908
총 열획득량 (kWh/a)		5,129	3,322	3,700	5,704
난방에너지 요구량 (kWh/㎡·a)		23	19	19	18
1차에너지 소요량 (kWh/㎡·a)		97	117	92	86
신재생에너지	태양전지 (3kWp)	○	○		○
	지열(5RT)	○			○
	지중열 (쿨튜브)		○		○
	기타			연료전지	

5. 결 론

본 연구에서는 패시브 디자인 요소를 적용한 4곳의 대상 주택의 난방에너지 요구량 및 열손실과 열획득을 비교하여 패시브하우스 설계 시 고려해야 할 사항을 분석하였다.

그 결과 창문이 면적 대비 열손실에 가장 취약한 부분으로 분석되었고, 다음으로 지붕과 외벽에 손실이 높은 것으로 나타났다. 또한 환기 부분도 폐열회수장치의 효율이나 주택의 내부볼륨에 따라 열손실에 있어 큰 부분을 차지하였다.

창문의 경우, 열손실에 있어 가장 취약하면서도 일사 획득에 있어 중요한 역할을 하므로 패시브하우스의 고단열·고기밀 설계를 위해 반드시 고려해야 할 부분이다.

PH-3의 경우를 보면 구조체별 열관류율과 기밀성 테스트 결과 모두 패시브하우스 기준을 만족하였음에도 불구하고 난방에너지는 기준을 초과하였다. 이는 주택의 기밀성은 우수하나 창호의 면적이 작아 일사의 획득이 다른 주택에 비해 낮은 결과라고 판단되어진다. 이에 창호 계획 시 열손실량과 열획득량을 분석하여 충분한 일사의 획득이 가능하도록 창의 면적을 산정하고 고기밀·고단열의 설계를 위해서 고효율 창호의 사용은 물론, 설치 시 열교가 차단되도록 하고 기밀 시공이 이루어져야 한다.

패시브하우스를 건축하는데 있어, 앞서 언급한 것과 같이 창호의 계획은 매우 중요하다. 하지만 창호만으로 패시브하우스의 기준을 만족할 수 있는 것은 아니며 설계단계에서부터 에너지 성능 분석을 통해 외벽이나 지붕, 환기 등 여러 부분을 상호 보완하는 계획과 기밀한 시공이 필요하다 하겠다.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업의 연구비 지원(과제번호 20103044)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Wolfgang Feist, Passive House Planning Package, Passiv Haus Institut, 2007
2. 박성중, PHPP를 활용한 패시브하우스 설계, 건축환경설비 Vol.6 No.3, 2012.07
3. 송승영 외 2명, ISO 13790의 Monthly Calculation Method를 이용한 내단열 대비 외단열 공동주택의 열교제거와 열용량 증가에 의한 난방 및 냉방 에너지절약 효과 분석
4. 김주환, 패시브하우스 계획 및 시공방안에 관한 연구, 세명대학교 대학원 석사학위논문, 2012.02
5. 이수진, 비용효율을 고려한 에너지 절약형 공동주택 설계모델 설정, 이화여자대학교 대학원 석사학위논문, 2009.
6. etnews. greendaily 건물에너지, 수요관리의 열쇠, 2013.01.28
7. ISO 13790: 2008, Energy performance of buildings Calculation of energy use for space heating and cooling.
8. 원종서 외 2명, 3리터 하우스 설계를 위한 건축요소의 에너지 성능 평가, 대한건축학회 논문집 : 계획계 Vol.25 No.1, 2005
9. 구보경 외 2명, ISO 13790의 Monthly Calculation Method를 이용한 내,외단열 공동주택의 에너지성능 평가, 대한건축학회 논문집 : 계획계 Vol.2010 No. 10, 2010

투고(접수)일자: 2013년 4월 9일
수정일자: (1차) 2013년 6월 21일
(2차) 2013년 6월 25일
(3차) 2013년 6월 25일
게재확정일자: 2013년 6월 25일